

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 31 896.4

Anmeldetag: 12. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: MYCRONA Gesellschaft für innovative
Messtechnik mbH, Saarwellingen/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung
der Ist-Position einer Struktur eines Unter-
suchungsobjektes

IPC: G 01 N, G 01 B, G 06 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

BEST AVAILABLE COPY

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position
einer Struktur eines Untersuchungsobjektes

Technisches Gebiet:

- Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem.

Stand der Technik:

- Computer-Tomographen dienen zur Erstellung von dreidimensionalen Bildern, nämlich so genannten CT-Bildern, von Objekten, z.B. Werkstücken oder menschlichen Körpern oder Körperteilen, wobei diese Bilder auch innere Strukturen des Objektes zeigen.
- Ein Computer-Tomograph, im Folgenden mit CT abgekürzt, verfügt über eine Röntgenquelle und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor, z.B. CCD-Matrix, welcher für die von der Röntgenquelle abgegebene Strahlung empfindlich ist. Die Röntgenquelle gibt Strahlung von typischerweise z.B. 450 keV ab.
- Zwischen Röntgenquelle und Detektor wird das Objekt angeordnet und schrittweise gegenüber der Röntgenquelle bzw. dem Schirm gedreht. Zu diesem Zweck verfügt der CT in der Regel über Objektträgertisch, auf welchem das Objekt angeordnet ist.
- Der Objektträgertisch ist so verfahrbar, daß sich das Objekt in den Strahlengang der Röntgenstrahlung einbringen läßt. Ferner ist der Objektträgertisch rotierbar, so daß das Objekt zur Erstellung des CT-Bildes gedreht werden kann. Typischerweise wird das Objekt z.B. in Schritten von je $0,9^\circ$ gedreht, so daß 400 Rotationsschritte eine volle Umdrehung des Objektes ergeben. Nach jedem Rotationsschritt wird der Objektträger mit dem Objekt um eine bestimmte Strecke translatorisch verschoben.

Für jede der so durchlaufenden Rotationsstellungen des Objektes wird mit dem Detektor ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Objektes

aufgenommen. Auf diesen zweidimensionalen Bildern erscheint das Objekt größer als es in Wirklichkeit ist, da seine Größe auf dem Bild einer zentrischen Projektion des Objektes auf die Detektorfläche entspricht, wobei die Röntgenquelle das Projektionszentrum ist.

5

Aus der so gewonnenen Vielzahl von zweidimensionalen Einzelbildern wird mit Hilfe eines Computers rechnerisch ein dreidimensionales digitales Bild des Objekts erstellt, welches auch vollständig im Objekt eingeschlossene innere Strukturen desselben zeigt, sofern diese einen gegenüber ihrer Umgebung abweichenden Absorptionskoeffizienten für die eingestrahlte Röntgenstrahlung aufweisen, was z.B. für Hohlräume, wie etwa Bohrungen, der Fall ist.

0

Ein derartiger handelsüblicher CT ist z.B. in dem Prospekt "RayScan 3D-X-Ray-Computed Tomography", PRO-RS-A-E000 11/01, der Firma Hans Wälischmiller GmbH, D-88677 Markdorf, beschrieben.

5

Mit derartigen Computer-Tomographen können innere Strukturen von Objekten untersucht und vermessen werden, z.B. Bohrungen in Werkstücken.

0 Um auf diese Weise eine Struktur des Objektes zu untersuchen oder in ihrer Form zu vermessen, kann zunächst ein CT-Bild des ganzen Objektes einschließlich der interessierenden Struktur erstellt werden.

15 Nachteilig hierbei ist, daß das Bild der Struktur in der Regel nur einen kleinen Teil des Bildfeldes des CT einnimmt, da die mit dem CT erreichbare relative räumliche Auflösung begrenzt ist. Dies ist insbesondere auf den endlichen Durchmesser der Austrittspupille der Röntgenquelle und auf die begrenzte Zahl der Pixel der CCD-Matrix zurückzuführen; typisch wird eine relative laterale Auflösung von z.B. 1:4000 erreicht.

10

Eine Struktur des Objektes, deren Ausdehnung z.B. 1% der Objektgröße beträgt, wird daher in diesem Fall nur mit einer relativen Auflösung von 1:40 abgebildet, was in den meisten Fällen nicht für eine detaillierte Untersuchung der Struktur unzureichend ist.

Daher kann das CT-Bild des Objektes dazu herangezogen werden, um den Ort der Struktur innerhalb des Objektes in Bezug auf das Koordinatensystem des CT zu ermitteln und eine zweite Computer-Tomographie des Objektes durchzuführen und dabei den CT so zu steuern, daß nur die nähere Umgebung der Struktur von dem CT erfaßt wird und von dieser Umgebung ein zweites CT-Bild, mit erhöhtem Vergrößerungsfaktor, erstellt wird. Hierdurch wird die relative Auflösung des Bildes der Struktur gesteigert, d.h. es werden mehr Details der Struktur sichtbar.

Auch hiermit sind jedoch Nachteile verbunden. Beispielsweise ist es aufwendig, den Ort innerhalb des Objektes aus dem ersten CT-Bild zu bestimmen. Darüber hinaus ist eine derartige Lokalisierung der Struktur ungenau, da nicht nur die Struktur selbst, sondern auch die Oberfläche des Objektes nur mit der begrenzten Auflösung des CT erfaßt werden, wodurch sich die entsprechenden Meßunsicherheiten vergrößern.

Ferner wird zur Erstellung des zweiten CT-Bildes zusätzliche Zeit benötigt. Dieser zusätzliche Zeitaufwand stellt angesichts der sehr hohen Betriebskosten eines CT einen erheblichen Kostenfaktor bei der Untersuchung der Struktur dar.

Darüber hinaus wird das Objekt zur Erstellung des zweiten CT-Bildes erneut mit einer bestimmten Dosis an ionisierender Strahlung beaufschlagt. Dies ist insbesondere dann nachteilig bzw. problematisch, wenn das Objekt aus lebender biologischer Materie besteht. Auch auf tote Materie kann die erneute Strahlenbelastung nachteilig einwirken. Ionisierende Strahlung kann beispielsweise Alterung, Umwandlung, Verfärbung oder Zersetzung von Kunststoffen auslösen, auf Kristallstrukturen verändernd einwirken oder elektronische Bausteine zerstören.

Technische Aufgabe:

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, welche eine Lokalisierung und Untersuchung einer

Struktur eines Objektes mit verringertem Zeitaufwand, erhöhter Genauigkeit und reduzierter Strahlenbelastung des Objektes ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem, dadurch gekennzeichnet, daß ein Computer-Tomograph mit einem auf diesen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden.

Die Aufgabe wird ferner gelöst durch eine Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position und der Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung einen Computer-Tomographen mit einem auf diesen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, aufweist.

Das erste Koordinatensystem ist also das CT-Koordinatensystem, welches auf den Computer-Tomographen bezogen ist. Das zweite Koordinatensystem ist das MG-Koordinatensystem; dieses ist auf das Koordinatenmeßgerät bezogen.

Gemäß einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird als Computer-Tomograph ein solcher verwendet, welcher eine Röntgenquelle und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor aufweist, welcher eine aktive Detektorfläche besitzt, die für die von der Röntgenquelle abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist, wobei das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Größe der aktiven Sensorfläche gegeben ist, die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte der Oberfläche des Untersuchungsobjektes vorgegeben ist und die Ist-

Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so daß sich die Ist-Position innerhalb eines z.B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist. Die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem sind hierbei entweder bereits bekannt oder werden durch Einmessung ermittelt.

Das Koordinatenmeßgerät kann ein taktilen, d.h. auf mechanischer Abtastung beruhendes, oder ein optisches Koordinatenmeßgerät oder ein z.B. lasergestütztes Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät sein. Das Koordinatenmeßgerät kann also insbesondere ein solches sein, welches nicht imstande ist, innere Strukturen des Untersuchungsobjektes zu erfassen.

Gemäß dieser Variante werden folgende Schritte ausgeführt:

- a) Mittels des Koordinatenmeßgerätes wird die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkten der Oberfläche des Untersuchungsobjektes bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt,
- b) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur wird mit Hilfe der im Schritt a) erzielten Meßergebnisse berechnet,
- c) die Soll-Position der Struktur wird vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet, so daß die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bekannt ist,
- d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes bezüglich des Computer-Tomographen wird unter Verwendung der gemäß Schritt c) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so gesteuert, daß sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist,
- e) mit Hilfe des Computer-Tomographen wird ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert, und
- f) die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem wird aus dem CT-Datensatz bestimmt.

- e) der Computer-Tomographen imstande ist, ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur zu erstellen und als CT-Datensatz zu speichern,

so daß die Ist-Position sowie die Form der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar sind.

Somit ist erfindungsgemäß die Möglichkeit geschaffen, den Computer-Tomographen, abgekürzt CT, bei so hoher Vergrößerung zu betreiben, daß er nicht mehr das ganze Untersuchungsobjekt synchron abbilden kann, und hierbei die Relativposition zwischen CT und Untersuchungsobjekt von vornherein so zu steuern, daß vorteilhafterweise immer das Toleranzvolumen und somit auch die Struktur vom CT erfaßt wird.

Zur Bestimmung der auf das MG-Koordinatensystem bezogen Soll-Position der Struktur ist die Vermessung von mindestens drei ausgewählten Punkten der Oberfläche des Untersuchungsobjektes bezüglich des MG-Koordinatensystems erforderlich; werden mehr als drei Oberflächenpunkte auf die genannte Weise vermessen, so lassen sich die zusätzlichen Meßergebnisse vorteilhaft zur Verringerung des mittleren Fehlers und damit zur Erhöhung der erzielten Genauigkeit verwenden.

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die äußere Form von Werkstücken oder anderen Objekten z.B. in der Serienproduktion in vielen Fällen routinemäßig ohnehin mit einem taktilen oder optischen Koordinatenmeßgerät oder mit einem Multisensor-Koordinatenmeßgerät vermessen wird, z.B. zum Zweck der Produktionsüberwachung. Die Ergebnisse des Schrittes a) stehen in diesen Fällen von vornherein zur Verfügung, so daß der Schritt a) keinen zusätzlichen Aufwand mit sich bringt.

Das Toleranzvolumen kann insbesondere rotationssymmetrisch, d.h. eine Toleranzkugel sein, so daß deren Radius durch die Toleranzabweichung und deren Mittelpunkt durch die Soll-Position gegeben ist.

Gemäß einer zweckmäßigen Variante der Erfindung wird der Computer-Tomograph im Verfahrensschritt d) so wird, daß sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfaßbaren Volumens befindet. Bevorzugt ist daher der Computer-Tomograph so steuerbar, daß sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfaßbaren Volumens befindet.

Dies bedeutet, daß der CT erfindungsgemäß so gesteuert wird, daß sich die Soll-Position der Struktur vorteilhafterweise von vornherein im Zentrum des vom CT erfaßten und abgebildeten Bereichs des Untersuchungsobjektes befindet; die Erfindung ermöglicht von vornherein eine "Zentrierung" der Soll-Position der Struktur in dem vom CT erfaßbaren Bereich.

Gemäß einer Variante wird der Computer-Tomograph so gesteuert, daß bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt wird, so daß die relative laterale Auflösungsfähigkeit der aktiven Detektorfläche vollständig zur Erfassung des Toleranzvolumens ausgenutzt wird. In diesem Fall ist der Computer-Tomograph so steuerbar, daß bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt ist.

Gemäß einer anderen bevorzugten Variante wird der Computer-Tomograph so gesteuert, daß bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind, oder der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der größte Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind. Gemäß dieser Variante ist der Computer-Tomograph so steuerbar, daß bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der kleinste Durchmesser der

Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind, oder der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der größte Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind.

Auf diese Weise kann der zur Erstellung des CT-Bildes verwendete Vergrößerungsfaktor so an die Abmessungen des Bildfeldes und an die Größe des Toleranzvolumens angepaßt werden, daß die Projektion des Toleranzvolumens im wesentlichen mit der Größe des Bildfeldes übereinstimmt. Der Vergrößerungsfaktor kann auf diese Weise vorteilhaft so gewählt werden, daß er der größtmöglich ist, bei welchem das Toleranzvolumens gerade noch vollständig als Ganzes vom CT erfassbar ist, so daß sich die Struktur vorteilhafterweise von vornherein im dem vom CT erfaßten und abgebildeten Bereich befindet. Auch bei hohem Vergrößerungsfaktor besteht daher keine Gefahr, daß sich die Struktur außerhalb des vom CT erfassbaren Bereiches befindet.

Hierbei wird die relative laterale Auflösungsfähigkeit der aktiven Detektorfläche weitgehend zur Erfassung des Toleranzvolumens ausgenutzt.

Das Untersuchungsobjekt kann z.B. eine Kfz-Einspritzdüse mit einer typischen Länge von 50 mm und einem typischen mittleren Durchmesser von 25 mm sein. Die zu untersuchende Struktur kann z.B. in die Einspritzdüse eingebrachte Bohrung von einigen Millimetern Länge sein.

Die Soll-Position der Struktur ist bei solchen Strukturen, welche gezielt an Objekten angebracht werden, wie beispielsweise die Bohrung einer Einspritzdüse, ebenfalls von vornherein bekannt. In vielen Fällen erfolgt die Produktion derartiger Objekte mit großer Präzision, d.h. mit sehr geringen Toleranzen zwischen Soll- und Ist-Position, so daß das Toleranzvolumen sehr klein ist und der Vergrößerungsfaktor vorteilhafterweise entsprechend hoch gewählt werden kann.

Aus dem CT-Bild kann zusätzlich zur Lage der Struktur auch die Form der Struktur ermittelt werden. Beispielsweise kann die Form der Begrenzungsfläche einer kleinen Bohrung in einer Einspritzdüse mit Hilfe der Erfindung sehr genau vermessen werden. Die Soll-Lage der Struktur kann dabei auf einen ausgewählten Punkt der Struktur bezogen sein, wobei die Koordinaten weiterer Punkte der Struktur relativ zu diesem Punkt der Struktur aus dem CT-Bild bestimmt werden können. Die so ermittelten Koordinaten von Punkten der Struktur können z.B. zur Parametrisierung der Form der Struktur herangezogen werden.

Die relative Lage und die relative Orientierung zwischen MG-Koordinatensystem und CT-Koordinatensystem läßt sich bestimmen, indem die Lage von mindestens drei, vorzugsweise von mindestens vier ausgewählten Aufpunkten auf der Oberfläche eines Kalibrierobjektes sowohl mit dem Computer-Tomographen im CT-Koordinatensystem als auch mit dem Koordinaten-Meßgerät im MG-Koordinatensystem bestimmt wird. Aus dem Vergleich der so erhaltenen Ergebnisse können die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber MG-Koordinatensystem, z.B. eine Transformationsmatrix zur Überführung dieser beiden Koordinatensystem ineinander, ermittelt werden. Werden mehr als drei Aufpunkte auf die genannte Weise eingemessen, so ist die genannte Koordinatentransformation mathematisch überbestimmt; die redundanten Ergebnisse lassen sich jedoch vorteilhaft zur Verringerung des mittleren Fehlers und damit zur Erhöhung der erzielten Genauigkeit kombinieren.

Das Untersuchungsobjekt und das Kalibrierobjekt können selbstverständlich identisch sein. Ebenso können die ausgewählten Punkte der Oberfläche des Untersuchungsobjektes mit den zu gegenseitigen Einmessung der beiden Koordinatensysteme verwendeten Aufpunkten zusammenfallen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind der Computer-Tomograph und das Multisensor-Koordinatenmeßgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert.

Fig. 1 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position und der Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes 1 in einem Koordinatensystem.

Die Vorrichtung von Fig. 1 dient zur Bestimmung der Ist-Position und der Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem. Die Vorrichtung umfaßt einen Computer-Tomographen, im folgenden als CT bezeichnet, mit einem auf diesen bezogenen Koordinatensystem, im folgenden als CT-Koordinatensystem bezeichnet, und ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät mit einem auf dieses bezogenen Koordinatensystem, im folgenden MG-Koordinatensystem bezeichnet.

Der CT umfaßt eine Röntgenquelle 5 und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor 6. Die Soll-Position der Struktur ist in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte der Oberfläche des Untersuchungsobjektes 1 vorgegeben. Die Ist-Position der Struktur ist um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden, so daß sich die Ist-Position innerhalb eines z.B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist. Die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem sind bekannt oder durch Einmessung ermittelbar.

Mittels des Koordinatenmeßgerätes ist die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte der Oberfläche des Untersuchungsobjektes 1 bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar. Hieraus ist die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur berechenbar. Die Soll-Position der Struktur ist vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar, so daß die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist.

Die Relativposition des Untersuchungsobjektes 1 bezüglich des CT ist unter Verwendung der auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung 3 so steuerbar, daß sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist.

Der CT ist imstande, ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur zu erstellen und als CT-Datensatz zu speichern, so daß die Ist-Position sowie die Form der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar sind.

Die Vorrichtung von Fig. 1 umfaßt einen Computer-Tomographen, im Folgenden mit CT abgekürzt, mit einer Röntgenquelle 5 und einem zweidimensional ortsauflösenden Detektor, nämlich eine CCD-Matrix 6, welche für die von der Röntgenquelle 5 abgegebene harte Röntgenstrahlung von typischerweise z.B. 450 keV empfindlich ist. Die Vorrichtung von Fig. 1 umfaßt ferner eine Sensor-Kamera-Einheit 4, welche oberhalb des Untersuchungsobjektes 1 angeordnet ist und einen mechanischen Taster, einen Lasertaster sowie zwei Kameras umfaßt und Teil eines Multisensor-Koordinatenmeßgerätes ist.

Das Untersuchungsobjekt 1 befindet sich auf einem Rotationstisch 2, welcher schrittweise rotierbar und seinerseits an einem Verfahrstisch 3 angeordnet ist. Der Verfahrstisch verfügt über einen Antrieb 9 und ist zweidiemensional translatorisch verfahrbar.

Die Röntgenquelle 5, die CCD-Matrix 6, das Sensor-Kamera-Einheit 4 sowie der Verfahrstisch 3 sind an einem gemeinsamen Montagerahmen 7 angeordnet, welcher auf einem nivellierbaren Unterbau 8 ruht.

Das Untersuchungsobjekt 1 ist zwischen Röntgenquelle 5 und CCD-Matrix 6 angeordnet und wird zur Erstellung eines CT-Bildes mit der Röntgenstrahlung der Röntgenquelle 5 durchstrahlt, danach durch Drehen des Rotationstisches 2 um z.B. $0,9^\circ$ gedreht und durch Verfahren des Verfahrstisches 3 um eine bestimmte Strecke translatorisch verschoben und erneut durchstrahlt, usw.

Für jede der so durchlaufenden Stellungen des Untersuchungsobjektes 1 wird mit der CCD-Matrix 6 ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes 1 aufgenommen und aus der so gewonnenen Vielzahl von

zweidimensionalen Einzelbildern wird ein dreidimensionales digitales Bild des vom CT erfaßten Bereiches des Untersuchungsobjekts 1 berechnet.

Diese Berechnung wird durch einen Computer ausgeführt, welcher in Fig. nicht dargestellt ist und welcher zugleich zur Steuerung der Rotationstisches 2, des Verfahrtisches 3 und der Sensor-Kamera-Einheit 4 dient.

Der CT umfaßt die Röntgenquelle 5, die CCD-Matrix 6, den Computer, den Rotationstisch 2, den Verfahrtisch 3 mit seinem Antrieb 9, den Montagerahmen 7 und seinen Unterbau 8.

Das Multisensor-Koordinatenmeßgerät umfaßt die Sensor-Kamera-Einheit 4, den Computer, den Rotationstisch 2, den Verfahrtisch 3 mit seinem Antrieb 9, den Montagerahmen 7 und seinen Unterbau 8.

Der Computer, der Rotationstisch 2, der Verfahrtisch 3 mit seinem Antrieb 9, der Montagerahmen 7 und sein Unterbau 8 gehören demnach sowohl zum CT als auch zum Multisensor-Koordinatenmeßgerätes 4. In der Vorrichtung von Fig. 1 sind somit erfindungsgemäß der CT und das Multisensor-Koordinatenmeßgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert.

Liste der Bezugszeichen:

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1 | Untersuchungsobjekt |
| 2 | Rotiertisch |
| 3 | Verfahrtisch |
| 4 | Multisensor-Koordinatenmeßgerät |
| 5 | Röntgenquelle |
| 6 | CCD-Matrix |
| 7 | Montagerahmen |
| 8 | Unterbau |
| 9 | Antrieb für 3 |

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes (1) in einem Koordinatensystem, dadurch gekennzeichnet, daß ein Computer-Tomograph mit einem auf diesen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

- als Computer-Tomograph ein solcher verwendet wird, welcher eine Röntgenquelle (5) und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor (6) aufweist, welcher eine aktive Detektorfläche besitzt, die für die von der Röntgenquelle (5) abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist, wobei das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Größe der aktiven Sensorfläche gegeben ist,
- die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte der Oberfläche des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so daß sich die Ist-Position innerhalb eines z.B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
- die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem bekannt sind oder durch Einmessung ermittelt werden,

und folgende Schritte ausgeführt werden:

- a) Mittels des Koordinatenmeßgerätes wird die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkten der Oberfläche des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt,
- b) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur wird mit Hilfe der im Schritt a) erzielten Meßergebnisse berechnet,

- c) die Soll-Position der Struktur wird vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet, so daß die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bekannt ist,
- d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des Computer-Tomographen wird unter Verwendung der gemäß Schritt c) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so gesteuert, daß sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist,
- e) mit Hilfe des Computer-Tomographen wird ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert, und
- f) die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem wird aus dem CT-Datensatz bestimmt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Toleranzvolumen eine Toleranzkugel ist, so daß deren Radius durch die Toleranzabweichung und deren Mittelpunkt durch die Soll-Position gegeben ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer-Tomograph im Verfahrensschritt d) so gesteuert wird, daß sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfassbaren Volumens befindet.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer-Tomograph so gesteuert wird, daß bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer-Tomograph so gesteuert wird, daß bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum

- der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind, oder
- der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der größte Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem CT-Bild zusätzlich zur Lage der Struktur auch die Form der Struktur ermittelt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage von mindestens drei, vorzugsweise von mindestens vier ausgewählten Aufpunkten auf der Oberfläche eines Kalibrierobjektes sowohl mit dem Computer-Tomographen im CT-Koordinatensystem als auch mit dem Koordinatenmeßgerät im MG-Koordinatensystem bestimmt wird und aus dem Vergleich der so erhaltenen Ergebnisse die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber MG-Koordinatensystem ermittelt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Untersuchungsobjekt (1) und das Kalibrierobjekt identisch sind.

10. Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position und der Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes (1) in einem Koordinatensystem, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung einen Computer-Tomographen mit einem auf diesen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmeßgerät, welches entweder taktilen oder optisches Koordinatenmeßgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmeßgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmeßgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, aufweist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß
- der Computer-Tomograph eine Röntgenquelle (5) und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor (6) aufweist, welcher eine aktive Detektorfläche besitzt, die für die von der Röntgenquelle (5) abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist,
 - das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Größe der aktiven Sensorfläche gegeben ist,
 - die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte der Oberfläche des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so daß sich die Ist-Position innerhalb eines z.B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
 - die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem bekannt oder durch Einmessung ermittelbar sind,

wobei

- a) mittels des Koordinatenmeßgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte der Oberfläche des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar ist,
- b) hieraus die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur berechenbar ist,
- c) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar ist, so daß die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist,
- d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des Computer-Tomographen unter Verwendung der auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so steuerbar ist, daß sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist, und
- e) der Computer-Tomograph imstande ist, ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschließlich der Struktur zu erstellen und als CT-Datensatz zu speichern,

so daß die Ist-Position sowie die Form der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Toleranzvolumen eine Toleranzkugel ist, so daß deren Radius durch die Toleranzabweichung und deren Mittelpunkt durch die Soll-Position gegeben ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer-Tomograph so steuerbar ist, daß sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfaßbaren Volumens befindet.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer-Tomograph so steuerbar ist, daß bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle (5) als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer-Tomograph so steuerbar ist, daß bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle (5) als Projektionszentrum

- der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind, oder
- der größte Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der größte Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich groß sind.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer-Tomograph und das Multisensor-Koordinatenmeßgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert sind.



1/1

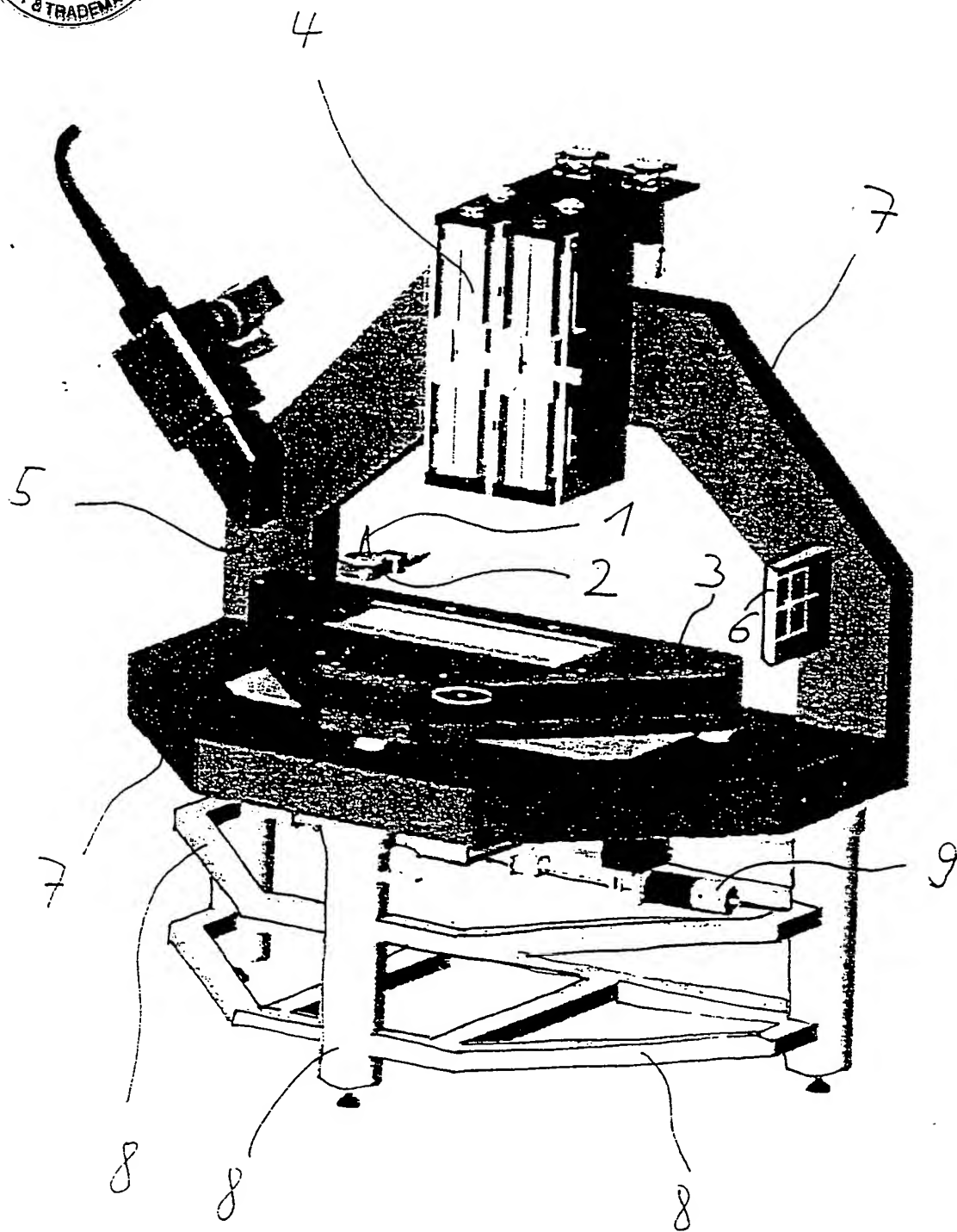


Fig. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.